



چگونگی تشکیل، رده‌بندی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های گچی نمکی منطقه‌ی کشکوئیه - انار کرمان

فیروزه نورمندی پور، محمدهادی فرپور*، مهدی سرچشمه پور

گروه مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۱/۵/۲۵، نسخه نهایی: ۹۱/۱۲/۱۰)

چکیده: تشکیل کانی‌های رسی متأثر از فرایندهای خاک‌سازی بوده است که به نوبه خود نقش مهمی در مدیریت اراضی ایفا می‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی چگونگی تشکیل، رده‌بندی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های کشکوئیه - انار انجام گرفت. به‌همین منظور، چهار خاک‌رخ شاهد مورد آزمایش‌های فیزیکی شیمیایی و کانی‌شناسی رسی قرار گرفتند. افق‌های جیپسیک، سالیک، و ناتریک از جمله افق‌های مشخصی بودند که در بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی شناسایی شدند. زیرگروه‌های جیپسیک هاپلوسالید و تیپیک هاپلوسالید بر اساس رده‌بندی خاک امریکایی جدا شدند. کانی‌های رسی ایلیت، کائولینیت، کلریت، اسمکتیت، پالیگورسکیت و سپیولیت با استفاده از پراش‌سنج پرتو X (XRD) شناسایی شدند. به‌علاوه، از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نیز برای تأیید حضور کانی رسی فیبری پالیگورسکیت استفاده شد. کانی رسی سپیولیت برای اولین بار در خاک‌های استان کرمان گزارش می‌شود. همبستگی معکوسی بین اسمکتیت و پالیگورسکیت در خاک‌های مورد بررسی وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان اسمکتیت و پالیگورسکیت به ترتیب در افق‌های سطحی و زیرسطحی مشاهده شدند.

واژه‌ها کلیدی: ایران مرکزی؛ پالیگورسکیت؛ خاک‌های گچی نمکی؛ سپیولیت؛ منطقه‌ی کشکوئیه - انار

مقدمه

دارند [۶،۵]. با توجه به اینکه برای تشکیل کانی‌ها به شرایط اقلیمی و فیزیکی - شیمیایی ویژه‌ای نیاز است، لذا با اطلاع از نوع کانی‌ها می‌توان شرایط اقلیمی و جغرافیایی گذشته را بازسازی کرد.

پالیگورسکیت از دیرباز به عنوان یک کانی رسی مهم و رایج در خاک‌ها و رسوب‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک گزارش شده است [۹-۷]. هنگامی که توزیع زمانی و جغرافیایی پالیگورسکیت و سپیولیت مورد بحث قرار می‌گیرند، افزایش مقادیر این کانی‌ها در رسوب‌های کرتاسه بالایی مخصوصاً در رسوب‌های ترشیاری در نواحی با محدوده‌ی عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی و جنوبی [۱۰] مشاهده می‌شود. این

کشور ایران با دارا بودن حدود ۲۸ میلیون هکتار خاک گچی [۱]، بیشترین گسترش این نوع خاک‌ها را در میان سایر کشورها دارد [۲]. به دلیل خصوصیات ویژه‌ی خاک‌های گچی از قبیل حاصلخیزی کم و فرسایش پذیری زیاد [۳]، استفاده از این‌گونه اراضی نیازمند مدیریت ویژه‌ای است. بنابراین بررسی نحوه‌ی تشکیل، ویژگی‌های ریخت شناسی و کانی‌شناسی این خاک‌ها نیز همانند سایر خاک‌ها برای استفاده‌ی پایدار از این منابع ارضی دارای اهمیت بسیاری است [۴].

ترکیبات شیمیایی و کانی‌شناسی مواد خاکی اثر ویژه‌ای روی سرشتی‌های فیزیکی خاک‌ها در شرایط اقلیمی خشک

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۲۰۲۶۵۶ (۰۳۴۱)، نمابر: ۳۲۲۲۰۴۳ (۰۳۴۱)، پست الکترونیکی: farpoor@uk.ac.ir

کانی‌ها فقط در شرایط قلبایی با فعالیت بالای منیزیم، پایدار هستند [۱۱]. کانی پالیگورسکیت در خاک‌های خشک و نیمه-خشک استان فارس توسط محققین زیادی با اشاره به خاستگاه‌های به ارث رسیده و خاکساز گزارش شده است [۱۳، ۱۲]. از سوی دیگر، کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌های ایران مرکزی در استان‌های اصفهان [۱۱، ۱۴، ۱۵] و کرمان [۱۶-۲۰] گزارش شده و خاستگاه‌های خاکساز و به ارث رسیده برای این کانی توسط محققین مورد اشاره قرار گرفته است.

اگرچه حلالیت کمتر آهک در مقایسه با گچ به حفظ بلورهای پالیگورسکیت در افق‌های کلسیک و در مجاورت بلورهای کلسیت کمک می‌کند [۲۱]، اما اصولاً میزان پالیگورسکیت در خاک‌های گچی، بیش از خاک‌های آهکی است [۲۲، ۲۳]. محققین [۱۴] سه شرط ایده‌آل را برای تشکیل پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌های ایران مرکزی گزارش کرده‌اند که شامل افزایش نسبت منیزیم به کلسیم ناشی از تبلور گچ در محیط‌های آبی کم عمق، افزایش واکنش محیط ناشی از اقلیم گرم، و افزایش سیلیس محلول ناشی از گرماب-های غنی از سیلیسیم است. این شرایط برای تشکیل پالیگورسکیت توسط برخی محققین [۱۸، ۱۶] نیز گزارش شده است.

سپiolیت به فراوانی در سنگ‌های ترشیاری مخصوصاً سنگ‌های غنی از فسفات‌ها، نمک، سولفات‌ها، کربنات‌ها و زئولیت‌ها و نیز در سنگ‌های سیلیسی و در محیط‌های مختلف اعم از محیط‌های دریاچه‌ای و دریایی ایجاد می‌شود [۲۴]. سپiolیت، آخرین مرحله‌ی کانی است که در محیط هوازده در شرایط بازی گسترش می‌یابد. علاوه بر این، سپiolیت قادر است در محیط هوازده با pH بالا از اولیوین نیز تشکیل شود [۲۵].

این پژوهش برای نیل به اهداف زیر پایه‌ریزی شده است:

۱- بررسی کانی‌شناسی رسی خاک‌های منطقه.

۲- بررسی چگونگی تشکیل و رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سیستم رده‌بندی جامع آمریکایی [۲۶] و سیستم جهانی [۲۷].

روش بررسی

منطقه مطالعاتی

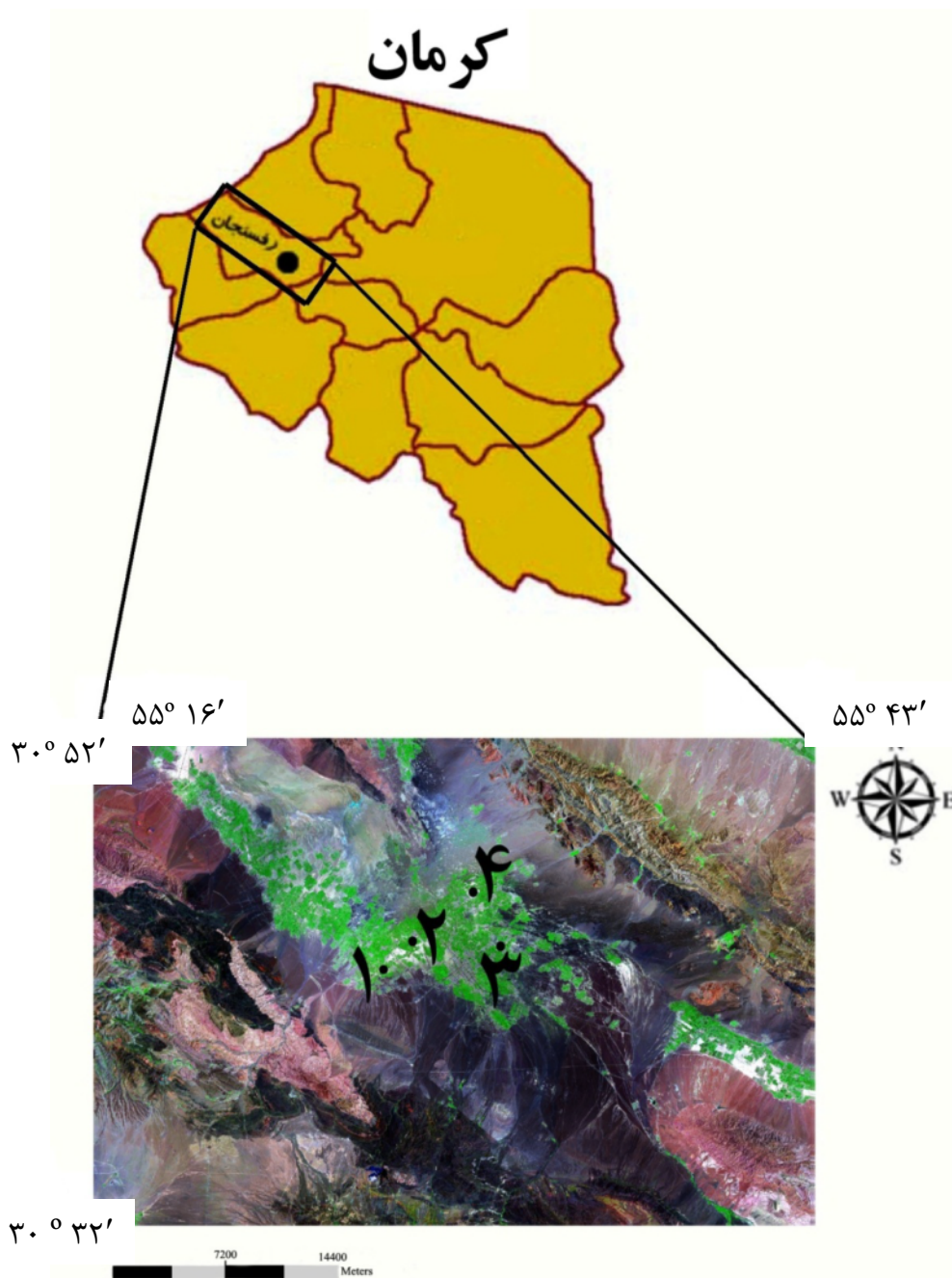
این کار پژوهشی در منطقه‌ای به مساحت تقریبی ۸۲۰/۹۳۷ کیلومترمربع و در ارتفاع بین ۱۴۰۱ تا ۱۴۳۵ متری از سطح

دریا، واقع در ۲۴ کیلومتری جنوب‌شرق شهرستان انار انجام گرفت. این منطقه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۵° ۱۶' تا ۵۵° ۴۳' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۵۲' تا ۳۰° ۳۲' قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین دمای سالانه منطقه ۱۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارندگی طی دوره‌ی آماری (۷۶-۱۳۷۰) ۸۹/۴ میلی‌متر است. بر اساس نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، رژیم رطوبتی و گرمایی منطقه به ترتیب اریدیک و ترمیک گزارش شده است [۲۸]. از دیدگاه زمین‌شناسی، این منطقه بخشی از واحد ایران مرکزی است و در فرورفتگی رفسنجان- انار قرار دارد که از رسوب‌های اخیر کواترنر تشکیل شده و به‌وسیله‌ی سازند سرخ بالایی حاوی مارن‌های گچی، ماسه سنگ و کنگلومراهای سرخ مربوط به میوسن [۲۹] و کنگلومراها و ماسه سنگ‌های نئوژن [۳۰] احاطه شده است. از نظر زمین ریخت‌شناسی، خاکرخ اول در مخروط افکنه‌ی سنگریزه‌دار جوان واقع شده در حالی که خاکرخ‌های ۲، ۳ و ۴ در موقعیت پلایا قرار دارند.

بررسی‌های صحرایی و فیزیکی- شیمیایی

تعداد نه خاکرخ برای بررسی‌ها حفر شدند به طوری که تعداد چهار خاکرخ آن‌ها در زمین‌های غیرزراعی منطقه حد فاصل کشکوئیه و انار به عنوان شاهد نمونه‌برداری شدند [۳۱]. خاک-ها با استفاده از سیستم رده‌بندی آمریکایی [۲۶] و سیستم رده‌بندی جهانی [۲۷] رده‌بندی شدند.

تعداد ۱۸ نمونه خاک مربوط به کلیه افق‌ها هوا خشک شده و پس از کوبیدن با چکش لاستیکی، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده و ضمن اندازه‌گیری درصد حجمی سنگریزه، کلیه تجزیه-های فیزیکی- شیمیایی معمول از جمله توزیع اندازه‌ی ذرات به روش پیپت [۳۲]، pH گل اشباع با pH سنج مدل Jenway [۳۳]، قابلیت رسانندگی الکتریکی (EC) در عصاره اشباع با رسانانسج الکتریکی مدل Jenway [۳۴]، اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل به روش عیارسنجی برگشتی [۳۵]، گچ به روش رسوبگذاری با استون [۳۵]، کلسیم و منیزیم محلول به روش عیارسنجی با محلول ورسین در عصاره‌ی گل اشباع [۳۶]، سدیم محلول نیز در عصاره‌ی گل اشباع با دستگاه نورسنج فلیم‌فتمتر مدل Jenway [۳۶] و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با جانشینی استات سدیم با آمونیوم [۳۷] روی آن‌ها انجام گرفت.



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی و محل خاک‌های شاهد.

بررسی‌های کانی‌شناسی رسی

بررسی‌های پراش پرتو ایکس (XRD)

تعداد ۹ نمونه از خاک‌های مورد بررسی از افق‌های Byz1 و Btnyz (خاک‌رخ شماره‌ی یک)، افق‌های Az و Btnyz (خاک‌رخ شماره‌ی دو)، افق‌های Az، By2 و C (خاک‌رخ شماره‌ی سه) و افق‌های Bz و 2Cz (خاک‌رخ شماره‌ی چهار) برای تجزیه کانی‌شناسی رس انتخاب شدند. در این پژوهش از روش جکسون

[۳۸] و کیتریک و هوپ [۳۹] برای حذف مواد سیمانی و جدا کردن بخش رس استفاده شد و چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار در دمای ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد روی هر یک از نمونه‌ها اعمال شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به وسیله‌ی پراش‌سنج پرتو ایکس بروکر مدل Dh8 Advanced با زوایای ۲۰ بین ۲-۴۰ درجه و با کاتد مسی به

عنوان چشمه‌ی پرتو $\text{Cu K}\alpha$ در جریانی معادل ۳۰ میلی‌آمپر و ولتاژی برابر ۴۰ کیلوولت در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد بررسی شد.

بررسی‌هایی با میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

تعداد ۹ نمونه رس جدا شده از مرحله‌ی آزمایش‌های پراش پرتو ایکس را که فاقد پوشش اکسیدهای آهن، نمک‌های محلول، آهک و گچ بودند، رقیق کرده و پس از مخلوط کردن آسیایی و یکنواخت سازی با چرخش دهنده فراصوتی، روی پولک‌های نازک مسی ۲۰۰ مش پوشش داده شده، چکانده شدند. سرانجام نمونه‌ها پس از خشک شدن، با یک میکروسکوپ الکترونی مدل Hitachi H-7650 با ولتاژ ۸۰ کیلوولت، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید باهنر کرمان مورد بررسی و عکس‌برداری قرار گرفتند.

بررسی نتایج

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

خاکرخ شماره ۱ در موقعیت زمین ریخت‌شناسی مخروط افکنه سنگریزه‌دار جوان و در ارتفاع ۱۴۲۸ متری از سطح دریا در گستره‌ی عرض جغرافیایی $27^{\circ} 39' 30''$ شمالی و طول شرقی $55^{\circ} 29' 26''$ قرار گرفته است. میزان رسانندگی الکتریکی در این نیمرخ با عمق، کاهش و میزان pH افزایش یافته است (جدول ۱). حداقل و حداکثر میزان رسانندگی الکتریکی به ترتیب ۵۰ (افق Bt_{nyz}) و ۱۴۱/۲ (افق Byz) دسی‌زیمنس برمتر است. با توجه به بالا بودن مقدار کاتیون سدیم، مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) در تمامی افق‌ها بیشتر از ۱۳ است و بیشترین انباشت نمک در افق‌های سطحی مشاهده می‌شود. با بررسی درصد نسبی ذرات خاک، افزایش چشمگیر رس در عمق ۱۲۰-۷۵ سانتی‌متری دیده شد که نسبت به افق Bz، ۲۴ درصد افزایش یافته و به دلیل بالا بودن SAR دارای شرط ناتریک است. میزان گچ با عمق افزایش نسبی دارد و بیشترین انباشت را در عمق ۱۲۰-۷۵ سانتی-متری (افق Bt_{nyz}) نشان می‌دهد (جدول ۱). خاک مورد نظر دارای افق‌های Ayz، Byz، Bz و Bt_{nyz} بوده و به دلیل رژیم‌های رطوبتی/گرمایی به ترتیب اریدیک/ترمیک، در سیستم رده‌بندی آمریکایی [۲۶] به صورت Fine-loamy, Gypsic, thermic, Gypsic Haplosalids و در سیستم جهانی [۲۷] به صورت Gypsic Epialic Solonetz رده‌بندی شدند.

خاکرخ شماره‌ی ۲ در موقعیت زمین ریخت‌شناسی پلایا (پهنه‌های سیلت، رس؛ به طور محلی نمکی) و به ارتفاع ۱۴۲۷ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 41' 03''$ شمالی و طول شرقی $53^{\circ} 31' 55''$ واقع شده‌اند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این خاکرخ نیز در جدول ۱ آورده شده است. بیشترین میزان رسانندگی الکتریکی ۲۰۲ دسی‌زیمنس برمتر و مربوط به افق سطحی Az است و با افزایش عمق روند کاهشی دارد. افزایش در میزان رس طی بررسی‌های آزمایشگاهی و وجود پوسته‌های رسی روی سطوح خاکدانه‌ها طی بررسی‌های صحرایی در عمق ۷۰-۴۵ سانتی‌متری مؤید وجود افق ناتریک است که به دلیل بالا بودن میزان رسانندگی الکتریکی (جدول ۱) و حضور گچ، به صورت Bt_{nyz} نامگذاری شد. خاک مربوطه در سیستم رده‌بندی آمریکایی [۲۶] به صورت Fine-loamy, mixed, subactive, thermic, Gypsic Haplosalids و در سیستم جهانی [۲۷] به صورت Gypsic Epialic Solonetz رده‌بندی شد.

خاکرخ شماره ۳ نیز همانند خاکرخ قبل در موقعیت زمین ریخت‌شناسی پلایا (پهنه‌های سیلت، رس؛ به طور محلی نمکی) در ارتفاع ۱۴۲۶ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 41' 27''$ شمالی و طول شرقی $55^{\circ} 32' 11''$ واقع شده است. میزان رسانندگی الکتریکی در این خاکرخ نیز همانند خاک قبلی با افزایش عمق کاهش یافته و بیشترین مقدار رسانندگی الکتریکی مربوط به افق سطحی Az (۲۵۶/۲ دسی‌زیمنس برمتر) اندازه‌گیری شد و در عمق ۲۰۰-۱۴۰ سانتی‌متری به ۱۳/۴۱ دسی‌زیمنس برمتر کاهش یافت. درصد رس در این خاکرخ نیز همانند خاکرخ ۲ نسبت به عمق افزایش یافته و از ۱۲ درصد در افق Az به ۳۰ درصد در افق Bz و ۷۵ درصد در افق Bt_{ny} رسیده است. در تمامی افق‌ها کربنات کلسیم وجود دارد و با افزایش عمق نیمرخ، به‌طور نسبی افزایش یافته است، ولی میزان آهک ثانویه قابل رؤیت در صحرا به حد جدا کردن افق به صورت کلسیک نبوده است. خاک مورد نظر در سیستم رده‌بندی آمریکایی [۲۶] به صورت Very-fine, mixed, subactive, thermic, Gypsic Haplosalids و در سیستم جهانی [۲۷] به صورت Gypsic Epialic Solonetz رده‌بندی شد.

خاکرخ شماره‌ی ۴ نیز در موقعیت زمین ریخت‌شناسی پلایا (پهنه‌های سیلت، رس؛ به طور محلی نمکی) و ارتفاع ۱۴۲۲ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 42' 08''$ شمالی و طول شرقی $55^{\circ} 30' 49''$ واقع شده است. با توجه به جدول ۱، میزان رسانندگی الکتریکی در این خاک نیز همانند خاکرخ-

اسمکتیت تأیید می‌شود و به دلیل حذف شدن قله در تیمار گرمائی ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، کانی کلریت موجود نیست. قله‌ی دو شاخه‌ی ۱/۰۵ نانومتر مربوط به کانی پالیگورسکیت و ایلیت در هر دو افق مشاهده شد. به علاوه قله‌ی رده دوم ۰/۶۵ نانومتر مربوط به پالیگورسکیت نیز به عنوان تأییدی بر وجود این کانی مشاهده شد. قله‌های رده‌ی اول ۱/۲۴ و رده دوم ۰/۴۴ نانومتر نشانگر وجود کانی سپیولیت است. حذف قله‌ی رده‌ی اول ۰/۷۲ نانومتر در تیمار گرمایی ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز مؤید کائولینیت در هر دو افق است ضمن این که قله‌ی رده‌ی دوم ۰/۳۵ نانومتر این کانی نیز مشاهده شد. قله‌ی رده‌ی اول پالیگورسکیت با ایلیت همراه بوده و شدت قله‌ی رده‌ی دوم پالیگورسکیت نیز روندی را به سمت عمق نشان نمی‌دهد.

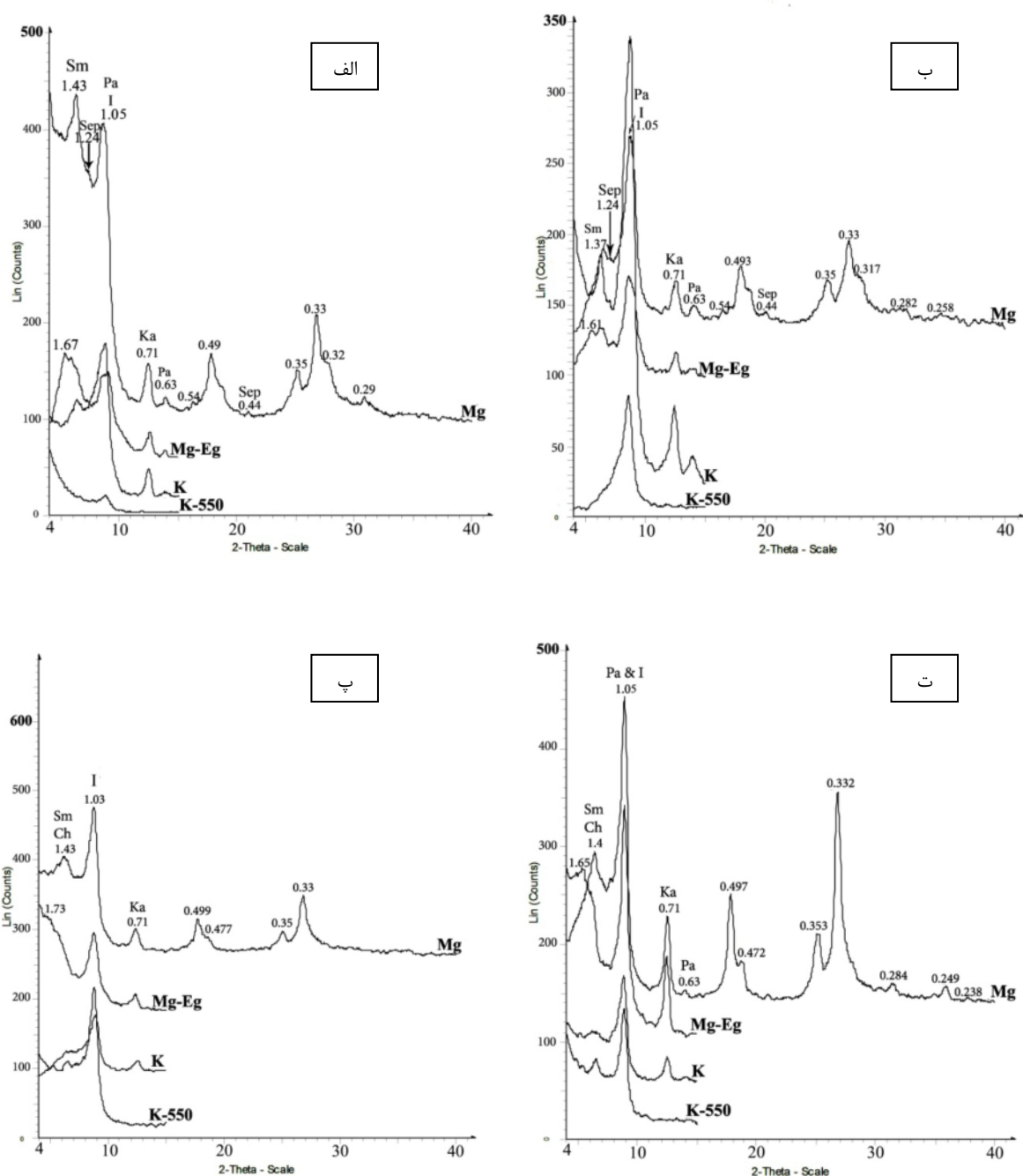
های ۲ و ۳ به سمت عمق نیمرخ کاهش یافته، به گونه‌ای که بین ۲۴۰ در افق سطحی (Az) و ۸/۶۲ دسی‌زیمنس برمتر در افق C (عمق ۱۳۵-۶۰ سانتی‌متر) متغیر است. این خاکرخ در سیستم رده‌بندی آمریکایی [۲۶] به صورت Fine-loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Haplosalids و در سیستم جهانی [۲۷] به صورت Hypersalic Solonchaks (Sodic, Chloridic, Episiltic) رده‌بندی شد.

کانی‌شناسی رسی خاک‌ها

خاکرخ ۱ واقع در مخروط افکنه سنگریزه‌دار جوان دارای کانی‌های رسی اسمکتیت، ایلیت، کائولینیت، پالیگورسکیت، و سپیولیت است (شکل ۲ الف و ب). از آنجا که قله‌ی ۱/۴ نانومتری در تیمار اتیلن گلیکول مربوط به هر دو افق Byz و Btmyz به حدود ۱/۶ نانومتر انبساط یافته، لذا وجود کانی

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مورد بررسی.

افق	عمق (cm)	توزیع اندازه ذرات			ذرات درشت (%)	بافت خاک	pH	EC (dS/m)	کربنات کلسیم (%) معادل	گچ (%)	SAR	CEC (cmol ⁺ /kg)
		شن	سیلت	رس								
Pedon 1: Gypsic Haplosalids												
Ayz	۰-۱۵	۶۴٫۴	۲۱٫۲	۱۴٫۴	۲۱	SL	۷٫۸	۱۱۹٫۵	۱۸	۱۷٫۴	۲۹۳٫۳۳	۴٫۰۱
Byz	۱۵-۴۵	۴۸٫۶	۴۳٫۱	۸٫۳	۱۷	L	۸٫۱	۱۴۱٫۲	۱۴	۱۳٫۹	۳۳۷٫۹۸	۵٫۳۷
Bz	۴۵-۷۵	۵۶٫۵	۳۷٫۱	۶٫۴	۱۹	SL	۸٫۳	۶۷	۱۴	۴٫۲	۹۴٫۸۵	۵٫۰۳
Btnyz	۷۵-۱۲۰	۴۸٫۶	۲۱٫۲	۳۰٫۲	۱۴	SCL	۸٫۲	۵۰	۱۸	۱۸٫۸	۶۶٫۵۷	۵٫۲
Pedon 2: Gypsic Haplosalids												
Az	۰-۱۰	۴۸٫۵	۴۳٫۲	۸٫۳	۲۲	SL	۶٫۹	۲۰۲	۱۷٫۵	۲٫۴۶	۱۹۹٫۸۲	۳٫۸۳
Byz	۱۰-۴۵	۴۰٫۳	۵۳٫۳	۶٫۴	۱۹	SiL	۷٫۶	۱۰۱٫۵	۱۲٫۵	۱۳٫۶	۹۹٫۴۵	۴٫۸۶
Btnyz	۴۵-۷۰	۵۲٫۴	۱۷٫۲	۳۰٫۴	۲۱	SCL	۷٫۷	۶۳٫۲	۱۷	۸٫۶۱	۴۹٫۲۲	۴٫۸۶
Pedon 3: Gypsic Haplosalids												
Az	۰-۱۰	۴۳	۴۵	۱۲	۱۴	L	۷٫۸	۲۵۶٫۲	۱۷	۳۳٫۰۶	۸۹۳٫۴۰	۱۱٫۷۱
Bz	۱۰-۴۵	۴۹	۲۱	۳۰	۵	SCL	۷٫۸	۳۴	۱۸	۰	۷۵٫۷۳	۹٫۰۱
By1	۴۵-۸۰	۶۳	۱۸	۱۹	۲۲	SL	۷٫۷	۱۱٫۳۲	۱۸٫۵	۸٫۳۵	۲۶٫۷۱	۸٫۲۴
By2	۸۰-۹۵	۶۹	۱۰	۲۱	۱۶	SCL	۷٫۶	۸٫۷۳	۱۴	۲۳٫۵۹	۱۸٫۰۵	۸٫۲۴
Btny	۹۵-۱۴۰	۹	۱۶	۷۵	۲۹	C	۷٫۷	۱۰٫۵۷	۱۵٫۵	۱۲٫۳۱	۲۲٫۱۴	۱۲٫۸۶
C	۱۴۰-۲۰۰	۱۱	۶۸	۲۱	۳۱	SL	۷٫۶	۱۳٫۴۱	۲۱	۰	۲۴٫۴۲	۱۳٫۲۵
Pedon 4: Typic Haplosalids												
Az	۰-۳۰	۱۲٫۸	۶۳٫۶	۲۳٫۶	۳۲	SiL	۶٫۵	۲۴۰	۱۲	۰	۱۳۰٫۷۲	۱۴٫۷۹
Bz	۳۰-۶۰	۲۶٫۸	۲۷٫۶	۴۵٫۶	۴۰	C	۷٫۰	۷۴٫۲	۱۷	۴٫۳۴	۴۲٫۴۷	۱۵٫۱۷
C	۶۰-۱۳۵	۵۴٫۸	۳۹٫۶	۵٫۶	۳	SL	۷٫۹	۸٫۶۲	۱۸٫۵	۰	۲۳٫۴۸	۱۲٫۴۸
2Cz	۱۳۵-۱۶۵	۲۸٫۸	۲۳٫۶	۴۷٫۶	۳۹	C	۷٫۹	۳۸	۱۴	۹٫۵۶	۵۵٫۹۲	۱۳٫۶۳
2C	۱۶۵-۲۰۵	۱۸٫۹	۵۱٫۶	۲۹٫۵	۶۰	SiCL	۷٫۶	۱۸٫۷۳	۱۶٫۵	۰	۴۰٫۶۴	۱۳٫۶۳



شکل ۲ پراش نگاشت افق‌های Byz1 (الف) و Btnyz (ب) خاکرخ ۱ و Az (پ) و Btnyz (ت) خاکرخ

Mg^۲: نمونه‌ی اشباع شده با کلرور منیزیم، Mg-Eg: نمونه‌ی اشباع شده با کلرور منیزیم و تیمار شده با اتیلن گلیکول

K: نمونه‌ی اشباع شده با کلرور پتاسیم، K-550: نمونه‌ی اشباع شده با کلرور پتاسیم و تیمار شده با دما ۵۵۰°C

کانولینیت: Ka اسمکتیت: Sm ایلیت: I پالیگورسکیت: Pa سپیولیت: Sep کلریت: Ch

مقایسه با خاکرخ ۱ در عدم وجود کانی سپیولیت و پالیگورسکیت در افق سطحی خاکرخ ۲ است. کانی‌های یاد شده در افق سطحی خاکرخ ۲ در موقعیت پلایا حضور ندارند. شدت قله‌ی اسمکتیت از افق Btnyz به سمت سطح در این

خاکرخ شماره‌ی ۲ کانی‌های رسی مشابهی با خاکرخ ۱ دارد با این تفاوت که علاوه بر کانی اسمکتیت، کانی کلریت نیز در هر دو افق Az و Btnyz مشاهده شده است (شکل ۲ پ و ت). دومین تفاوت در ترکیب کانی‌شناسی رسی این خاکرخ در

توسط محققین مختلف در ایران مرکزی گزارش شده‌اند [۱۹، ۲۰، ۴۱، ۴۲] نمی‌توان نسبت داد.

با مقایسه ریزنگاره‌های میکروسکوپ الکترونی عبوری وابسته به دو افق Byz و Bt_{nyz} خاکرخ ۱ (شکل ۴ الف و ب) مشاهده می‌شود که با افزایش عمق، بر طول دسته‌های بلورهای پالیگورسکیت افزوده شده و حالت دسته جارویی یافته‌اند که می‌تواند دلیلی بر نقش ماده‌ی مادری در افزودن پالیگورسکیت به خاک و بنابراین موروثی بودن این کانی باشد. نتایج مشابهی در خاک‌های استان اصفهان [۱۴] و کرمان [۱۶، ۱۸، ۴۳] نیز گزارش شده‌اند.

در خاکرخ شماره ۲ علاوه بر کانی اسمکتیت، کانی کلریت نیز در هر دو افق Az و Bt_{nyz} مشاهده شده است (شکل ۲ پ و ت). از آنجا که برای تشکیل این کانی به آبشویی شدید، واکنش کمتر از ۶، گرمای زیاد، و در نتیجه خروج هیدروکسیدهای بین لایه‌ای نیاز است [۴۴]، لذا وجود این کانی در اقلیم گرم و خشک منطقه‌ی مورد بررسی، به ارث رسیده از مواد مادری است. خاستگاه به ارث رسیده از کانی کلریت در خاک‌های ایران از جمله در استان‌های اصفهان [۱۴]، فارس [۱۳] و کرمان [۱۶، ۱۸] گزارش شده است. دلیل وجود کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت در افق Bt_{nyz} را شاید بتوان همانند خاکرخ ۱ به موروثی بودن این کانی‌ها به خصوص در مورد کانی پالیگورسکیت نسبت داد. عدم وجود این کانی‌ها در افق سطحی خاکرخ ۲ در موقعیت پلایا احتمالاً به نقش رواناب‌های دریافت شده در سطح این شکل اراضی و بنابراین تبدیل این کانی‌ها به اسمکتیت مربوط است [۱۶، ۱۳، ۲۲، ۱۸]. افزایش شدت قله‌ی اسمکتیت از افق Bt_{nyz} به سمت سطح در این خاکرخ نیز مؤید تبدیل احتمالی پالیگورسکیت به اسمکتیت در افق سطحی است (شکل ۲ پ و ت).

وجود پالیگورسکیت در ماده‌ی مادری خاکرخ ۳ به موروثی بودن این کانی مربوط بوده و دلیل عدم وجود این کانی در افق سطحی را شاید بتوان به تبدیل آن به کانی دیگری نسبت داد. در خاکرخ ۴ نیز همین روند مشاهده می‌شود (شکل ۳ ت و ج). از سوی دیگر در خاکرخ ۳ شدت قله‌ی ۱/۴ نانومتر مربوط به اسمکتیت-کلریت با عمق افزایش یافته که احتمالاً به دلیل نقش ماده مادری در افزودن کلریت به خاک است. در خاکرخ ۴، روند عکس نشان می‌دهد که می‌تواند به تغییر شکل پالیگورسکیت به اسمکتیت در اثر رواناب نسبت داده شود.

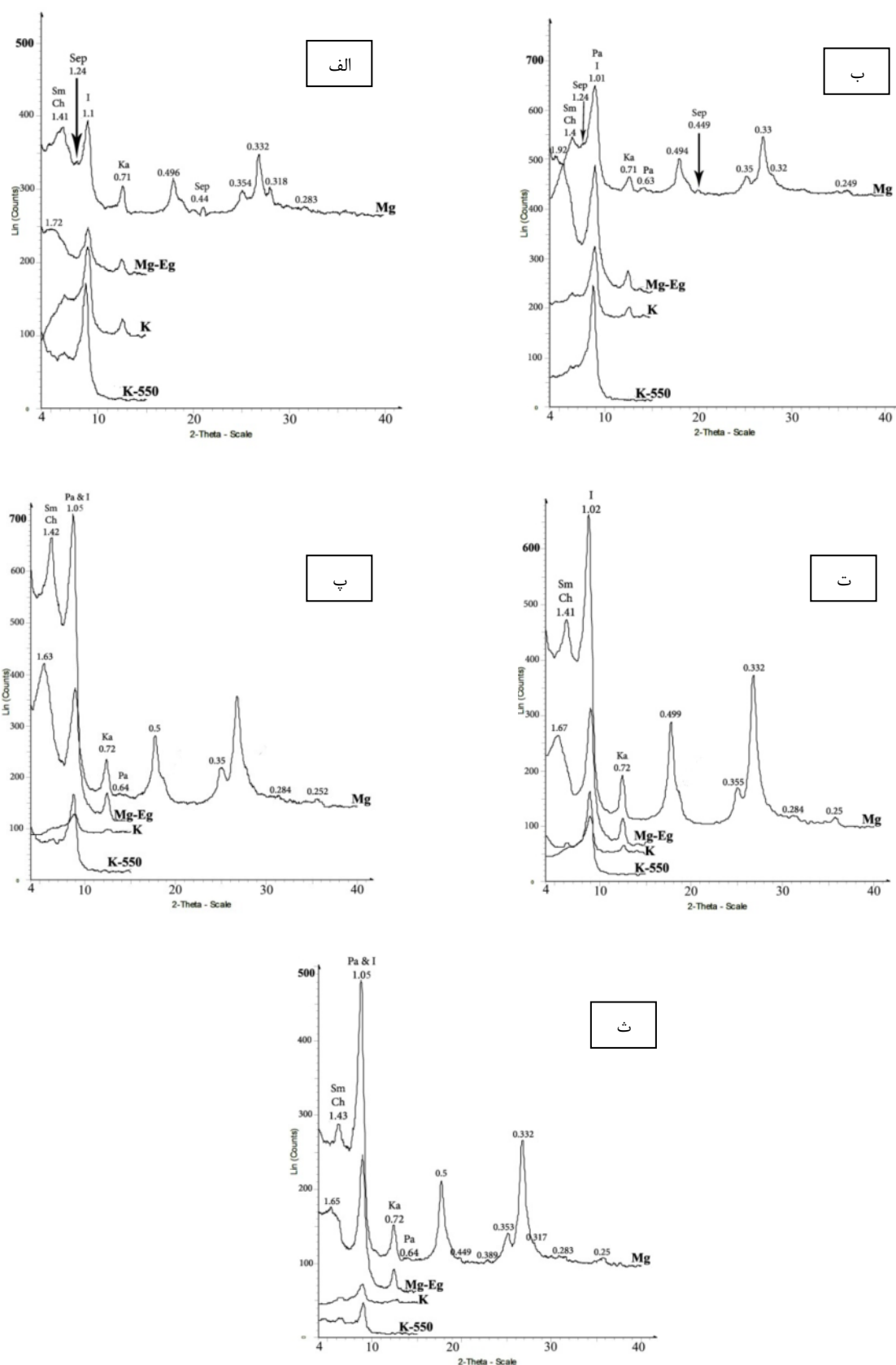
خاکرخ افزایش یافته است (شکل ۲ پ و ت). ریزنمودار میکروسکوپ الکترونی عبوری مقادیر کمتری از کانی پالیگورسکیت در خاکرخ ۲ را در مقایسه با خاکرخ ۱ نشان می‌دهند که با نتایج قله‌های جدایش پرتو ایکس نیز همخوانی دارد. به علاوه مقایسه‌ی شکل‌های ۴ پ و ت نیز مؤید افزایش نسبی در مقدار کانی پالیگورسکیت با افزایش عمق است که با نتایج جدایش پرتو ایکس همخوانی دارد.

خاکرخ ۳ در افق سطحی (Az) دارای کانی‌های رسی اسمکتیت، کلریت، ایلیت، کائولینیت، و سپیولیت است (شکل ۳ الف). با افزایش عمق به سمت افق By₂ کانی پالیگورسکیت نیز به مجموع کانی‌های رسی یاد شده اضافه می‌شود (شکل ۳ ب). در افق C این خاکرخ، اثری از کانی سپیولیت وجود نداشت ولی پالیگورسکیت همچنان مشاهده شد (شکل ۳ پ). مقایسه‌ی تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (شکل‌های ۴ ث، ج و چ) نیز نشانگر وجود پالیگورسکیت در افق‌های By₂ و C و عدم وجود آن در افق Az است که با نتایج جدایش پرتو ایکس و بحث‌های یاد شده همخوانی دارد.

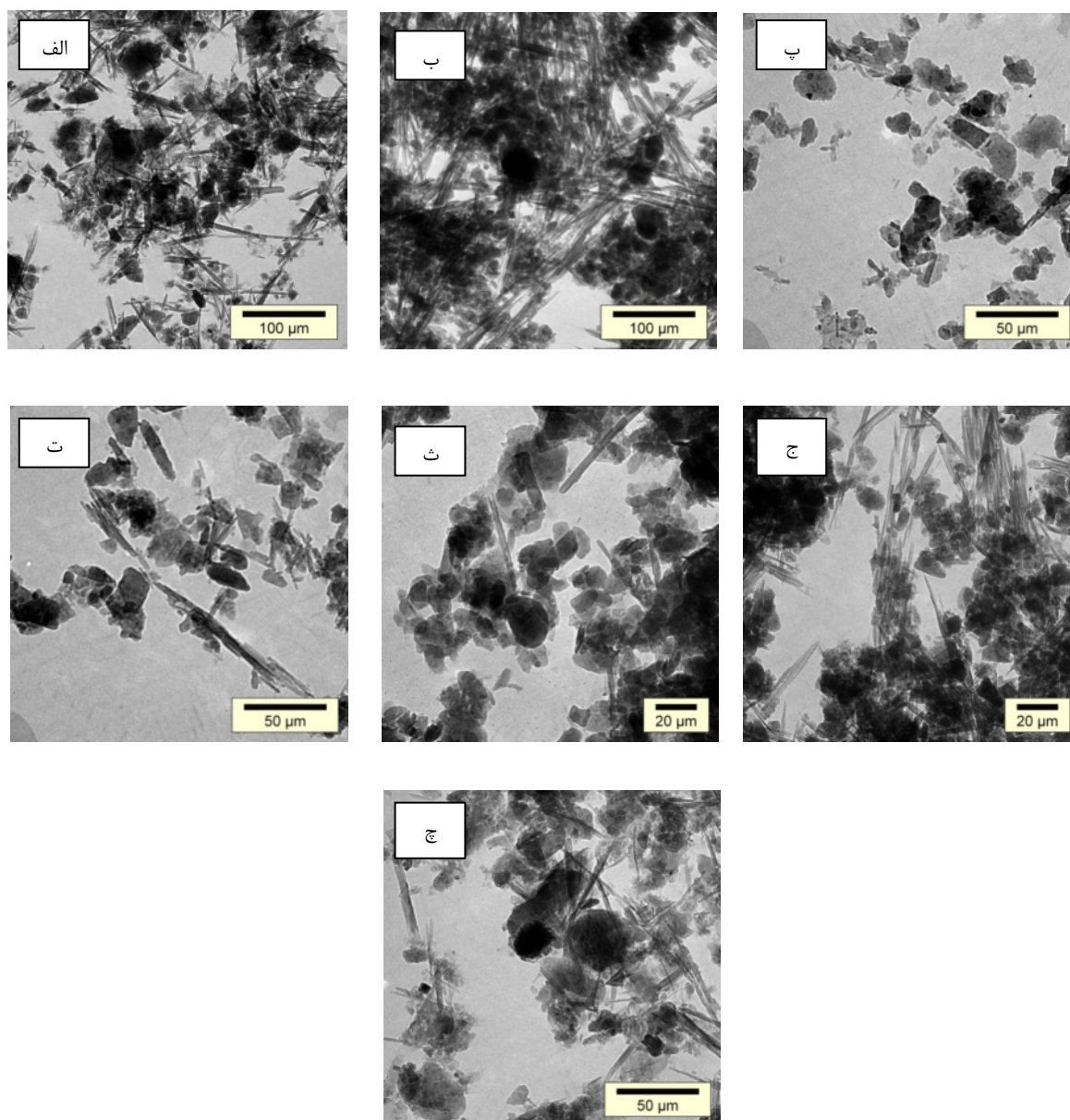
خاکرخ ۴ نیز دارای کانی‌های اسمکتیت، کلریت، کائولینیت، و ایلیت بوده و در ماده‌ی مادری (افق 2Cz) پالیگورسکیت نیز دارد (شکل ۳ ت و ث). ضمناً شدت قله‌ی اسمکتیت-کلریت نیز از عمق به سمت سطح افزایش یافته است.

بحث

بیشترین میزان رسانندگی الکتریکی در خاکرخ‌های ۲ و ۳ مربوط به افق‌های سطحی است که با افزایش عمق روند کاهشی نشان دادند. افزایش نمک به سطح موقعیت پلایا از جمله دلایل زیادی نمک در سطح و کاهش آن با عمق است. نمک در خاک‌های ایران دارای دو خاستگاه شوری طبیعی و شوری در اثر دخالت‌های انسان هستند. از آنجا که خاکرخ‌های مورد بررسی در این پژوهش تاکنون مورد کشت و آبیاری قرار نگرفته‌اند، لذا خاستگاه شوری موجود در این خاکرخ به محیط‌های پلایایی به‌جا مانده از بالازدگی‌های دوران میوسن برمی‌گردد [۴۰]، و بنابراین از نوع طبیعی است. وجود سدیم تبادلی زیاد و نقشی که این کاتیون در پخشیدگی ذرات رس دارد، باعث ایجاد افق ناتریک در خاکرخ‌های ۱، ۲ و ۳ شده، در حالی که رطوبت اندک موجود در اقلیم اریدیک منطقه نقشی در شستشوی رس نداشته است. ضمناً به دلیل سدیم تبادلی زیاد، شستشوی رس را به اقلیم‌های مرطوب‌تر گذشته که شواهد آن



شکل ۳ پراش نگاشت افق‌های Az (الف)، By₂ (ب) و C (پ) خاکرخ ۳ و Bz (ت) و 2Cz (ث) خاکرخ ۴



شکل ۴ ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی عبوری افق‌های By2 (الف) و Btmyz (ب) خاکرخ ۱، Az (پ) و Btmyz (ت) خاکرخ ۲، Az (ث)، By2 (ج) و C (ج) خاکرخ ۳ نشان دهنده بلورهای دسته جارویی و منفرد پالیگورسکیت

موقعیت‌های زمین ریخت‌شناسی بالاتر است. لازم به یادآوری است که شواهد سفره‌ی آب زیرزمینی غنی از منیزیم (با نسبت منیزیم به کلسیم برابر ۱/۶) در اطراف این خاکرخ مشاهده شد [۴۵] که به نوبه خود می‌تواند با تغییر در نسبت منیزیم به آلومینیم، در تشکیل خاکساز کانی سپیولیت (نوتشکلی و یا تغییر فرم اسمکتیت و پالیگورسکیت به سپیولیت) در این خاکرخ مؤثر بوده باشد [۴۶].

نکته‌ی قابل توجه در خصوص کانی سپیولیت، عدم وجود آن در ماده‌ی مادری و بنابراین موروثی نبودن خاستگاه این کانی می‌توان ذکر کرد. به نظر می‌رسد که کانی سپیولیت از تغییر شکل کانی پالیگورسکیت در افق‌های Az و By2 به وجود آمده باشد. از آنجا که در افق سطحی خاکرخ ۲ (شکل ۲ ب) که در سطح زمین‌ریختی مشابهی با این خاکرخ قرار دارد، سپیولیت مشاهده نشد، لذا تشکیل سپیولیت از تغییر شکل پالیگورسکیت محتمل‌تر از افزوده شدن این کانی به سطح از

باهنر به خصوص سرکار خانم مهندس لسانی به دلیل همکاری در انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی عبوری قدردانی می‌گردد.

مراجع

[۱] محمودی ش.، "خصوصیات و مدیریت خاک‌های گچی"، چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص ۲۹-۳۱ (۱۳۷۲).

[۲] محمودی ش.، حیدری الف.، "طبقه‌بندی و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های گچی در منطقه جنوب غرب گیلان غرب"، مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۹ (۱۳۷۷) ۳۰۸-۲۹۹.

[3] Khademi- Moghari H., "Stable isotope geochemistry, mineralogy and microscopy of gypsiferous soils from central Iran", Ph.D. thesis, Univ. of Saskatchewan (1997).

[4] Emadi M., Baghernejad M., Memarian H., "Genesis and clay mineralogical investigation of highly calcareous soils in semi-arid regions of southern iran", Journal of applied sciences 8 (2008) 288- 294.

[5] Reichert J. M., Norton L. D., "Aggregate stability and rainimpacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain", Soil Sci. 158 (1994) 159-169.

[6] Yilmaz K., Selim Kapur I. C., Rayan J., "Clay Minerals, Ca/Mg Ratio and Fe-Al-Oxides in Relation to Structural Stability, Hydraulic Conductivity and Soil Erosion in Southeastern Turkey", Turk J Agric For 29 (2005) 29-37.

[7] Elprince A. M., Mashhady A. S., Aba-Hussein M. M., "The occurrence of pedogenic palygorskite (attapulgit) in soils of Saudi Arabia", Soil Science 128 (1979) 211-218.

[8] Monger H. C., Dagherty L. A., "Neoformation of palygorskite in a Southern New Mexico aridisols", Soil Sci. Soc. Am. J., 55 (1991) 1646-1650.

[9] Stahr K., Kuhn J., trommler J., Papenfuß K. H., Zarei M., Singer A., "Palygorskite-cemented crusts (palycrètes) in southern Portugal. Aust", J. Soil Res. 38 (2000) 169-188.

[10] Yalcin H., Bozkaya O., "Sepiolite-palygorskite from the Hekimhan region (Turkey)", Clays Clay Miner. 43 (1995) 705-717.

از آنجا که امکان تشکیل کانی کائولینیت در اقلیم‌های خشک وجود ندارد، لذا وجود این کانی در خاک‌های مورد بررسی به ارث رسیده از مواد مادری است [۱۳، ۱۴، ۱۶]. کانی ایلیت نیز در خاک‌های ایران مرکزی به صورت به ارث رسیده از مواد مادری گزارش شده است [۱۸، ۴۷]. هر دو خاستگاه به ارث رسیده و خاکساز برای کانی پالیگورسکیت در ایران مرکزی گزارش شده است [۱۱، ۱۴، ۱۶، ۴۸].

برداشت

نتایج این پژوهش حاکی از وجود کانی‌های رسی کائولینیت، کلریت، اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت و سپیولیت به عنوان کانی‌های رسی غالب در نمونه‌های خاک منطقه‌ی مورد بررسی هستند. با توجه به افزایش شدت قله‌ی کانی پالیگورسکیت و نیز بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی، احتمالاً این کانی از مواد مادری به ارث رسیده است. کانی رسی سپیولیت برای اولین بار در خاک‌های استان کرمان طی این بررسی گزارش می‌شود. به نظر می‌رسد که کانی سپیولیت در خاکرخ ۳ که متأثر از آب منیزی می (با نسبت منیزیم به کلسیم بیش از ۱) بوده است، به صورت خاکساز از تغییر شکل کانی پالیگورسکیت به وجود آمده باشد.

افق‌های انباشت رس (Bt_{nyz} و Bt_{ny}) که در خاکرخ‌های ۱، ۲، و ۳ مشاهده شد به دلیل نسبت بالای جذب سدیم در این خاکرخ‌ها بوده و به شرایط مرطوب‌تر اقلیمی گذشته که شواهد آن در ایران مرکزی گزارش شده است، نسبت داده نمی‌شود. از آنجا که افق ناتریک در هاپلوسالیدها حتی تا سطح زیرگروه نیز دیده نشده است، لذا با توجه به محدودیت بیشتری که سدیم در مقایسه با گچ برای رشد گیاه ایجاد می‌کند، اضافه شدن زیرگروه سدیک هاپلوجیپسیدز قبل از جیپسیک هاپلوسالیدز به تاکسونومی خاک امریکایی پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

از بخش مهندسی خاکشناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان به دلیل فراهم نمودن امکان تحقیق و انجام تجزیه‌های فیزیکی شیمیایی تشکر می‌گردد. از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید

منطقه‌ی جیرفت"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲ (۱۳۹۰) ۴۲۵-۴۱۱.

[21] Salehi M. H., Khademi H., Eghbal M. K., "Genesis of Clay Minerals in Soils from Chaharmahal Bakhtiari Province, Iran", Book of Abstracts of the Conference on Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Region, Septembe. Cartagena, Spain, (2002) 47-48.

[22] Owliaie H. R., Abtahi A., Heck R. J., "Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on transect, Southwestern Iran", Geoderma 134 (2006) 62-81.

[23] Gamil A., Ramadan R., Rahim I., "Genesis and Classification of Wadi El-Sheikh Soils, Beni Suef, Egypt", Int. J. Nat. Eng. Sci., 2 (2008) 79-84.

[24] Singer A., Gala'n E., "Palygorskite-Sepiolite: Occurrence, Genes is and Uses", Developments in Sedimentology, 37, Elsevier, Amsterdam, (1984) 352 pp.

[25] Peters E. K., "D-18O enriched waters of the Coast Range mountains, northern California: connate and ore-forming fluids", Geochimica ET Cosmochimica Acta, 57 (1993) 1093-1104.

[26] Soil Survey Staff, "Keys to Soil Taxonomy", USDA, NRCS, (2010) 346 P.

[27] World Soil Resource Reports International Society of Soil Science, "World Refrence Base of Soil Resources", first update, Italy, Rome (2007).

[۲۸] بنایی ح. م.، "نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران. ۱:۲۵۰۰۰۰"، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. تهران- ایران (۱۳۸۰).

[29] Seradic A., et al., "Geological map of Anar (Scale 1:100,000)", (1972).

[۳۰] سهندی م. ر.، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمان"، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۰).

[31] Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., Broderson W.D., "Field book for describing and sampling soils", National Soil Survey Center, NRCS, USDA, Nebraska (2002) 228p.

[32] Gee G., Bauder W., "Particle Size Analysis", In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1.2 nd ed., Agron.Monger, No. 9.ASA and SSSA. Madison, WI. (1986) 388-409.

[11] Hojati S., Khademi H., "Genesis and distribution of palygorskite in Iranian soils and sediments", Developments in clay sci. 3 (2011) 201-218.

[12] Baghernejad M., "Variation in soil clay minerals of semi-arid regions of Fars province, Iran", Agri. Res. 19 (2000) 165-180.

[13] Khormali F., Abtahi A., "Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran", Clay minerals. 38 (2003) 511-527.

[14] Khademi H., Mermut A. R., "Source of palygorskite gypsiferous Aridisols and associated sediments from Central Iran", Clay minerals 33 (1998) 561-578.

[15] Khademi H., Mermut A. R., 1999."Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols", Europ. J. Soil Sci. 50 (1999) 207-216.

[16] Farpoor M. H., Khademi H., Eghbal M. K., "Genesis and distribution palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surfaces", Iran Agric. Res. 21 (2002) 39-60.

[17] Farpoor M. H., Neyestani M., Eghbal M. K., Esfandiarpour Borujeni I., "Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran", Geomorphology, 138 (2012) 223-230.

[18] Moazallahi M., Farpoor M. H., "Soil genesis and clay mineralogy along the xeric-aridic climotoposequence, south central Iran", Journal of Agricultural Science and Technology, Tarbiat Modarres, Tehran, Iran, 2 (2012).

[۱۹] سنجرى ص.، فرپور م. ه.، اسفندیاریپوربروجنی ع.، کریمیان اقبال م.، "مقایسه میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های قدیمی و عهد حاضر در منطقه جیرفت"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک ۵۸ (۱۳۹۰ الف) ۱۸۶-۱۷۳.

[۲۰] سنجرى ص.، فرپور م. ه.، کریمیان اقبال م.، اسفندیاریپوربروجنی ع.، "نحوه تشکیل، میکرومورفولوژی و کانی-شناسی رسی خاک‌های واقع بر سطوح ژئومرفیک گوناگون در

رفسنجان در ارتباط با سطوح ژئومورفولوژی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۳ (۱۳۸۲) ۹۲-۷۱.

[۴۲] فرپور م. ه.، ایران نژاد م.، ۱۳۹۰. "بررسی چگونگی تشکیل، کانی‌شناسی رسی و ریز ریخت شناسی خاک‌های قدیمی واقع بر مخروط آبرفتی گیودری رفسنجان". انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران ۴ (۱۳۹۰) ۷۷۲-۷۶۱.

[43] Farpoor M. H., Krouse H. K., "Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, Central Iran", *Geoderma* 146 (2008) 283-290.

[44] Barnhisel R. I., Bertsch P. M., "Chlorite and hydroxy interlayered vermiculite and smectite", Madison, Wisconsin, USA (1989).

[۴۵] نورمندی پور ف.، "کانی‌شناسی رسی خاک‌های متأثر از منیزیم و بررسی تأثیر نسبت‌های این عنصر بر رشد گیاه سورگوم و درصد کلنیزاسیون میکوریزا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران، (۱۳۹۰).

[46] Jones B. F., Gala'n E., "Palygorskite-Sepiolite", *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas)* (S.W. Bailey, editor). *Reviews in Mineralogy*, 19. Mineralogical Society of America, Washington, D.C. (1988) 631-674.

[47] Nadimi M., Farpoor M. H., "Genesis and clay mineralogy of soils on different geomorphic surfaces in Mahan-Joupar area, central Iran", *Arabian Journal of Geosciences*, DOI: 10.1007/s12517-011-0350-3 (2011).

[48] Hojati S., Khademi H., Faz Cano A., "Palygorskite formation under the influence of saline and alkaline groundwater in central Iranian soils", *Soil Science* 175 (2010) 303-312.

[33] Thomas G. W., "Soil pH and soil activity", In: D. L. Sparks. (Ed.) *Method of Soil Analysis. Part III. 3rd Ed. AM. Sco. Agron., Medison, WI.* (1996) 475-490.

[34] Rhoads J. D., "Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids", In: D.L. Sparks. (Ed.), *Method of Soil Analysis. Part III. 3rd Ed. AM. Soc. Agron., Medison. WI.* (1996) 417-436.

[35] Nelson D. W., Sommers L. E., "Total Carbon, Organic matter", In: A. L. Page et al. (Ed.), *Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed., Agron. Monger. No. 9. ASA and SSSA. Madison, WI.* (1982) 539-577.

[36] Richards L. A., "Diagnosis and Importance of Saline and Alkaline Soils", (Ed.) U. S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, DC, USA. (1954) 160p.

[37] Chapman H. D., Pratt P. F., "Methods of analysis for soils, plants and waters", Riverside, CA: University of California. (1961).

[38] Jackson M. L., "Soil chemical analysis-advanced course. Univ. of Wisconsin College of Agric., Dept of Soils Sci., Madison, WI", (1985).

[39] Kittrick J. A., Hope E. W., "A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis". *Soil Sci. Soc.* 96 (1963) 312-325.

[۴۰] نیستانی م.، "بررسی نحوه تشکیل و طبقه‌بندی خاک در برش طولی بردسیر- شهرابک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران، (۱۳۸۹).

[۴۱] فرپور م. ه.، کریمیان اقبال م.، خادمی ح.، "نحوه تشکیل و میکرومورفولوژی اریدی سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق